



Update: Tiefe anteriore lamelläre Keratoplastik (DALK) bei Keratokonus

Wann, Wie und Warum

Zur Versorgung von Patienten mit Keratokonus sind in den letzten Jahren lamelläre Transplantationsverfahren wie die tiefe anteriore lamelläre Keratoplastik (DALK) hinzugekommen [9, 32]. Der Anteil an Patienten, die mit einer DALK versorgt werden, ist noch niedrig [33], was einerseits an der geringen Zahl an Keratokonuspatienten, die eine Transplantation benötigen, und andererseits an der keinesfalls trivialen Operationstechnik liegen mag [9, 32]. Die DALK bietet jedoch Vorteile gegenüber der perforierenden Keratoplastik (pKPL), v. a. ein reduziertes Risiko von schweren intraoperativen Komplikationen sowie das völlige Fehlen von endothelialen Immunreaktionen [1, 6, 28].

Die Therapie des Keratokonus ist in den letzten Jahren wesentlich multimodaler geworden als noch vor 10 Jahren [1, 9, 28]. Zu den etablierten Standardtherapien wie der Versorgung der Patienten mit Keratokonus durch Brille und formstabile Kontaktlinse sowie der pKPL [27] sind lamelläre Transplantationsverfahren wie die DALK und das korneale Crosslinking hinzugekommen [9, 32]. Während lamelläre Trepanations- und Keratoplastiktechniken [DMEK („Descemet's membrane endothelial keratoplasty“) und DALK] im Bereich von Hornhautendothelerkrankungen die perforierenden Keratoplastiken in weiten Teilen der Welt fast vollständig abgelöst haben [25], ist der Prozentsatz von DALK bei Patienten mit Keratokonus gerade in Deutschland konstant niedrig [Zahlen Sektion Kornea der DOG (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft)] [33].

Dies hat sicherlich mehrere Ursachen, eine mögliche Ursache ist die reduzierte Zahl von Patienten, die beim Keratokonus tatsächlich eine Transplantation benötigen, da die korneale Crosslinking-Behandlung effektiv die Progression des Keratokonus zu stoppen scheint [22]. Ein weiterer Grund wird sicherlich auch die komplexere chirurgische Technik bei der DALK sein und die nicht unerhebliche Rate von Patienten, bei denen man intraoperativ von einer DALK dennoch auf die pKPL umsteigen muss, was viele Operateure von dem Einsatz der DALK als Routinetechnik bei der Keratokonusoperation abhält [9, 32].

Die visuellen Ergebnisse nach DALK und pKPL zeigen keinen signifikanten Unterschied [28, 34, 40, 41]. Beispielsweise zeigten Krumeich et al. [20], die 166 Augen nach DALK und 566 Augen nach pKPL verglichen, dass der Visus über die gesamte Follow-up-Zeit von 5 Jahren für DALK und pKPL identisch war. Statistisch signifikante Unterschiede konnten nur in den ersten 3 Monaten nachgewiesen werden, in denen die Augen nach DALK bessere Ergebnisse erzielten (Median 0,5–0,35, $p=0,001$), während für beide Gruppen der Visus nach 6 Monaten bis nach 5 Jahren nicht statistisch signifikant unterschiedlich war. Zwischen dem ersten und zweiten Jahr konnte in beiden Gruppen ein Visus im Mittel von 0,7 erreicht werden. Zahlreiche Studien kommen zu korrespondierenden Ergebnissen, so auch bei Han et al. [16], wo nach 12 Monaten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede im bestkorrigierten Visus ($p=0,26$; 0,15 logMar nach DALK

vs. 0,27 logMAR nach pPKL) ermittelt wurden. Auch das mittlere sphärische Äquivalent ($p=0,72$) und der Astigmatismus ($p=0,88$) waren vergleichbar.

Die Ergebnisse nach DALK sind auch im Vergleich mit modernen perforierenden Techniken wie der Excimerlasertrepanation in Bezug auf Visus und Astigmatismus keinesfalls unterlegen. Birnbaum et al. erreichten nach femtosekundenlasergestützter pPKL nach ca. 14 Monaten einen topographischen Astigmatismus nach Fadenzug von $6,4 \pm 3,0$ dpt beim Mushroom-Profil und $5,8 \pm 4,6$ dpt beim Top-hat-Profil. Der mittlere Astigmatismus nach DALK liegt bei ≤ 5 dpt [28, 42]. Auch hier scheinen die bestkorrigierten Visusergebnisse vergleichbar zu sein [5, 26, 32], wobei prospektive vergleichende Studien zwischen DALK und Laserkeratoplastik noch ausstehen.

Deutliche Unterschiede zeigen sich jedoch bei der Rate der immunologischen Komplikationen. Nach DALK sind diese aufgrund des Erhalts des Endothels äußerst selten. In einer Metaanalyse der American Academy of Ophthalmology konnte in nur 18 Augen von 1843 (d. h. in 1,0%) eine Immunreaktion aufgezeigt werden, während die Raten nach pPKL zwischen 0,7 und 20,2% schwankten [28].

In Anbetracht der Vorteile der DALK (vor allen Dingen der Erhalt des patienteneigenen Endothels) und in Anbetracht der gleich guten Visusergebnisse im Vergleich zur pPKL [17, 28] und des Fehlens von endothelialen Immunreaktionen [37], empfiehlt die American Academy of Ophthalmology in einer

Hier steht eine Anzeige.



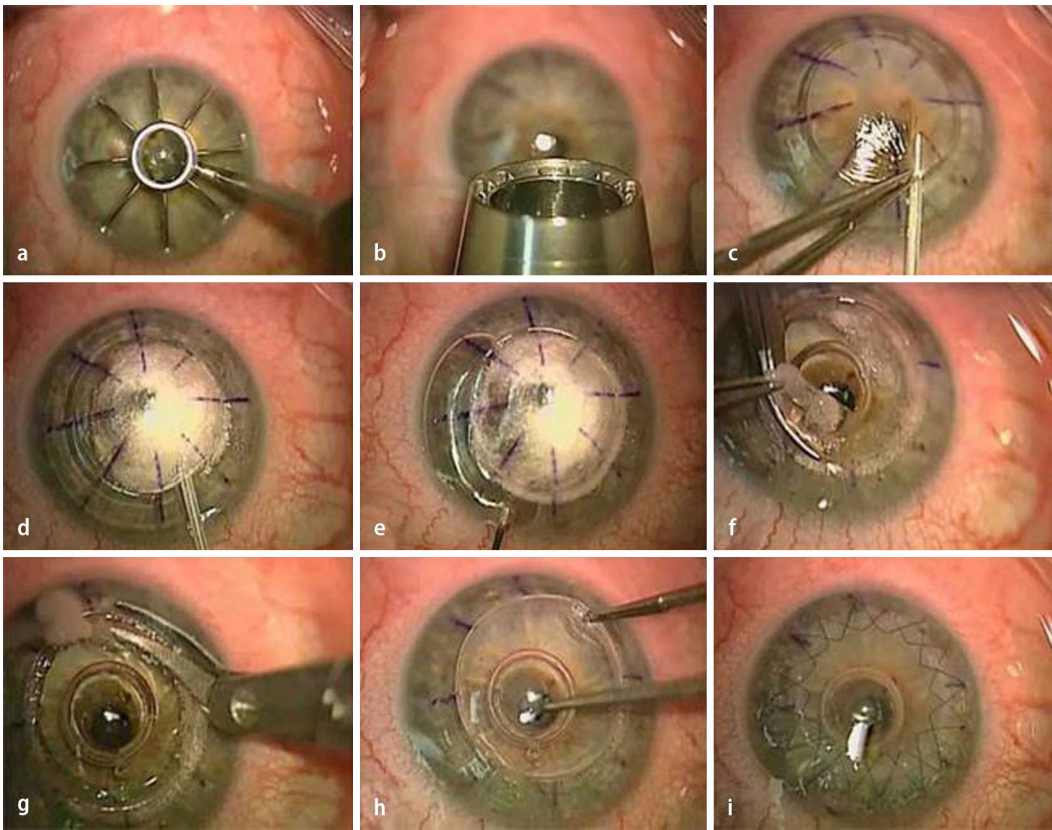


Abb. 1 ▲ Technik der DALK-Chirurgie mittels Big-Bubble bei einem Patienten mit Keratokonus. **a** Nach Markierung der Hornhaut erfolgt **b** die Trepanation der peripheren Hornhaut z. B. mit einem Barron-Trepan auf 90 % der minimalen Hornhautdicke. **c–e** Anschließend wird durch Luftinjektion ins Stroma eine Separation von Descemet und Stroma erzielt (es bildet sich eine weißliche „Big-Bubble“). **f** Dann Eröffnen des Spaltraumes und **f, g** zirkuläre Exzision des anterioren Stromas. **h** Die anteriore Spenderlamelle, von der vorher die Descemet-Membran abpräpariert wurde, wird zunächst mit Haltefäden und **i** dann fest mit doppelt fortlaufender Naht fixiert. In **f–i** erkennt man die hinter der verbliebenen Descemet-Membran des Patienten in der Vorderkammer liegende Luftblase. (Mit freundl. Genehmigung von Elsevier; aus [9])

rezenten Stellungnahme prinzipiell die DALK als das sicherere Verfahren bei Patienten mit Keratokonus [28].

» DALK gilt als das sicherere Verfahren beim Keratokonus

Ziel dieser Übersichtsarbeit ist es, Strategien der Komplikationsvermeidung und der Standardisierung der DALK aufzuzeigen, die eine höhere Umsetzungsrate der DALK ermöglichen. Des Weiteren werden Indikationen, Operationstechnik, Ergebnisse und Nachsorge bei DALK beim Keratokonus kurz erörtert, da sie in einer kürzlich erschienenen Übersicht in *Der Ophthalmologe* bereits ausführlich diskutiert wurden [10].

Die Indikation zur DALK stellt sich prinzipiell ebenso wie die zur pKPL, sobald sich die Sehschärfe beim Kerato-

konus mittels Kontaktlinse oder anderer rehabilitativer Maßnahmen nicht mehr auf ein alltagstaugliches Niveau heben lässt [18, 32].

Operationstechnik der DALK

Sehr gute Sehschärfen wie nach pKPL [27] werden bei Keratokonuspatienten im Rahmen einer lamellären Keratoplastik nur dann erreicht, wenn es gelingt, die Patientenhornhaut bis unmittelbar zur Descemet-Membran zu präparieren. Da die Präparation im mittleren Stromabereich keine guten visuellen Ergebnisse liefert, sollte sonst auf eine pKPL umgestiegen werden. Zur Präparation bis auf die Descemet-Membran gibt es mehrere Techniken. Die unseres Erachtens standardisierteste und erfolgreichste ist die DALK mittels der ursprünglich von Anwar beschriebenen

Big-Bubble-Technik [2, 29–32]. Dabei wird Luft mittels einer 30-Gauge-Nadel unmittelbar vor die Descemet-Membran in die Hornhaut des Patienten injiziert, um die Descemet-Membran vom Hornhautstroma zu trennen. Dann kann in mehreren Schritten durch Inzision des Hornhautstromas ein Zugang zu dem von Luft gefüllten Raum geschaffen werden und nach Austausch der Luftblase durch ein Viscoelastikum das verbliebene vordere Stroma herausgeschnitten werden (■ Abb. 1; [29–32]). Danach wird eine vordere Lamelle – von der vorher die Descemet-Membran entfernt wurde (die im Rahmen des Split-Cornea-Konzepts für eine DMEK bei einem Patienten mit Fuchs-Endotheldystrophie verwendet werden kann [9, 18]) – auf die Descemet-Membran des Patienten verbracht (■ Abb. 1). Die Fixierung erfolgt ebenso wie bei der pKPL meist

mittels doppelt fortlaufender Kreuzstichnaht nach Hoffmann (bzw. bei deutlicher Luftinsufflation in der Wirtshornhaut mit Einzelknüpfnähten).

Ergebnisse und Nachsorge nach DALK

Mehrere rezente Metaanalysen wie der bereits erwähnte Technology Report der American Academy of Ophthalmology mit einer Analyse von 15 kontrollierten Studien [23, 28] zeigen, dass sich die Visusergebnisse bestkorrigiert nach Fadenentfernung bei DALK nicht signifikant von denen nach pKPL unterscheiden. Auch die Astigmatismenwerte sind nicht signifikant anders [28]. Eigene Daten unterstützen dies [7, 29–32].

» Es gibt kaum Unterschiede in den Visusergebnissen bei DALK und pKPL

Die häufigste Komplikation intraoperativ ist eine Perforation der Descemet-Membran, die in 11,7% der Fälle auftritt [28]. Bei einer großen Perforation (Makroperforation) muss ggf. auf eine pKPL umgestiegen werden. Die Häufigkeit ist sicherlich abhängig von der Erfahrung des Operateurs und sinkt mit steigender Lernkurve [21, 39]. Bei 2–10% der Patienten muss intraoperativ auf eine pKPL umgestiegen werden [21, 28, 39].

Die Nachsorge ähnelt im Prinzip der Nachsorge nach pKPL. Obwohl es nicht zu endothelialen Immunreaktionen kommen kann, empfehlen wir zur Vermeidung von epithelialen und stromalen Entzündungsreaktionen ein Steroidschema wie bei der pKPL, beginnend mit 5-mal am Tag und dann jeden Monat um 1 Tropfen reduzieren. Solange Fäden in der Hornhaut verbleiben, sollte 1-mal am Tag mit Steroidaugentropfen weiter getropft werden. Bei DALK mit Einzelknüpfnähten ist ein antiastigmatischer Fadenzug bereits nach 6 Monaten möglich. Bei fortlaufender Naht nach Hoffmann kann im Vergleich zur pKPL ebenfalls ein frühzeitiger antiastigmatischer Fadenzug erfolgen (Entfernung des ersten fortlaufenden Fadens nach frühestens 4 bis 6, die des zweiten nach frühestens

Ophthalmologie 2016 · 113:204–212 DOI 10.1007/s00347-015-0204-6
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

C. Cursiefen · F. Schaub · B. Bachmann

Update: Tiefe anteriore lamelläre Keratoplastik (DALK) bei Keratokonus. Wann, Wie und Warum

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Therapie des Keratokonus hat sich in den letzten Jahren deutlich erweitert. Neben den bisherigen Optionen der Brillenkorrektur und der Anpassung von harten formstabilen Kontaktlinsen sowie der perforierenden Keratoplastik (pKPL) sind das korneale Crosslinking und die lamellären Transplantationstechniken hinzugekommen. **Ziel der Arbeit.** Ziel dieser Übersichtsarbeit ist es, aktuelle Möglichkeiten zur Komplikationsminimierung und zur Standardisierung der tiefen anterioren lamellären Keratoplastik (DALK) bei Keratokonus aufzuzeigen.

Material und Methoden. Zusammengefasst wurden eigene Daten und eine Literaturübersicht in PubMed.

Ergebnisse. Mittels DALK kann Patienten mit Keratokonus eine wesentlich längere Transplantatlebensdauer bei reduziertem Komplikationsrisiko angeboten werden.

Diskussion. Die DALK bietet zahlreiche Vorteile gegenüber der perforierenden Keratoplastik, v. a. die geringere intraoperative Eröffnung des Auges, das damit reduzierte

Risiko von schweren intraoperativen Komplikationen sowie das völlige Fehlen von endothelialen Immunreaktionen, da das Endothel des Patienten erhalten bleibt. Das Fehlen endothelialer Immunreaktionen ist gerade bei jungen Patienten mit Keratokonus und Patienten mit erhöhtem Abstoßungsrisiko wie z. B. bei der Neurodermitis ein wichtiges Argument. Daneben gibt es typische Komplikationen der DALK, die so bei der perforierenden Keratoplastik nicht auftreten. Die hier geschilderten Strategien zur Standardisierung und zu intraoperativen und postoperativen Komplikationsvermeidungen sollten dazu führen, die DALK noch sicherer und reproduzierbarer durchzuführen und diese als primäres Standardverfahren beim Keratokonus etablieren zu können.

Schlüsselwörter

Crosslinking · Intraoperative optische Kohärenztomographie (iOCT) · Transplantat · Komplikation · Immunreaktion

Update: Deep anterior lamellar keratoplasty (DALK) for keratoconus. When, how and why

Abstract

Background. The treatment of keratoconus has been significantly expanded in recent years. In addition to the previous options for correction by fitting hard contact lenses and penetrating keratoplasty (PK), corneal crosslinking and lamellar transplantation techniques have been added.

Objective. The aim of this review article is to highlight currently available options for minimization of complications and standardization of deep anterior lamellar keratoplasty (DALK) for keratoconus.

Material and methods. This article summarizes our own data and gives a review of the literature in PubMed.

Results. Performing DALK can provide keratoconus patients with corneal grafts with considerably longer graft survival and a reduced risk of complications.

Conclusion. The DALK procedure provides numerous advantages over PK, especially the reduced intraoperative opening of the

eye, which thus reduces the risk of serious intraoperative complications. A further benefit is the complete absence of postoperative endothelial immune reactions as the recipient's endothelium remains untouched. The absence of endothelial immune reactions is especially advantageous for young patients with keratoconus and patients with an increased risk of graft rejection, e.g. in atopic dermatitis; however, there are also typical complications of DALK that do not occur during PK. The outlined strategies for standardization of DALK and avoidance of intraoperative and postoperative complications should make DALK safer and more reproducible and lead to possible establishment as a standard procedure in keratoconus.

Keywords

Intraoperative optical coherence tomography (iOCT) · Transplant · Complication · Crosslinking · Immune reaction

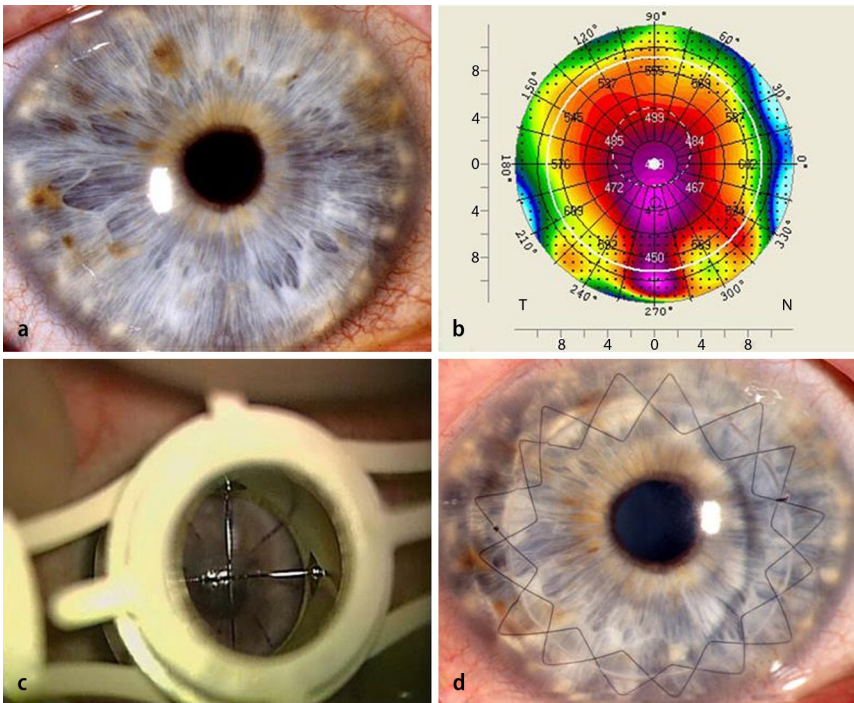


Abb. 2 ◀ Pentacam-assistierte Big-Bubble-DALK. **a** Präoperativer Befund. **b** Nach präoperativer Messung erfolgt **c** die Trepanation auf 90% der minimalen Stromadicke im peripheren Hornhautbereich. **d** Postoperativer Befund. (Mit freundl. Genehmigung von Wolters Kluwer Health; aus [29])

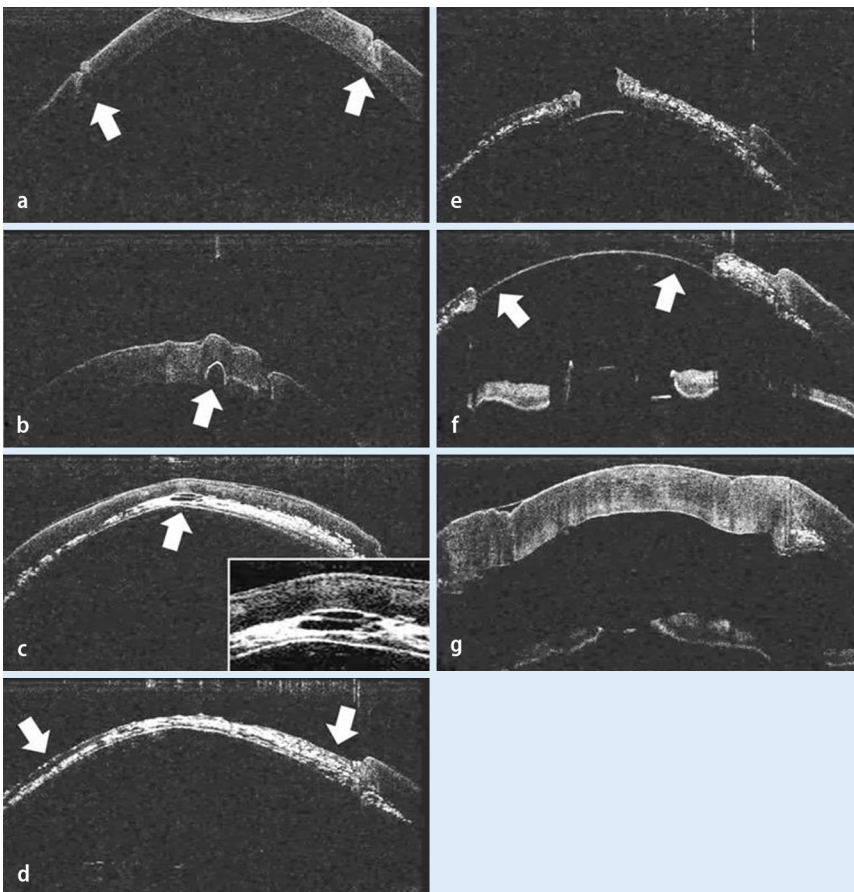


Abb. 3 ◀ Intraoperative OCT (iOCT)-Aufnahmen während der DALK machen die Operation sicherer und standardisierbarer. Das iOCT ermöglicht die Darstellung von **a** Trepanationstiefe, **b** Position der Luftinjektionsnadel, **c, d** Tiefe und Lokalisation von intrastromaler „weißer“ Luft, **e, f** stellt klar, dass die isolierte DM präpariert ist und **g** am Ende der Operation keine Flüssigkeit im Interface verbleibt. (Mit freundl. Genehmigung von BMJ Publishing Group; aus [38])

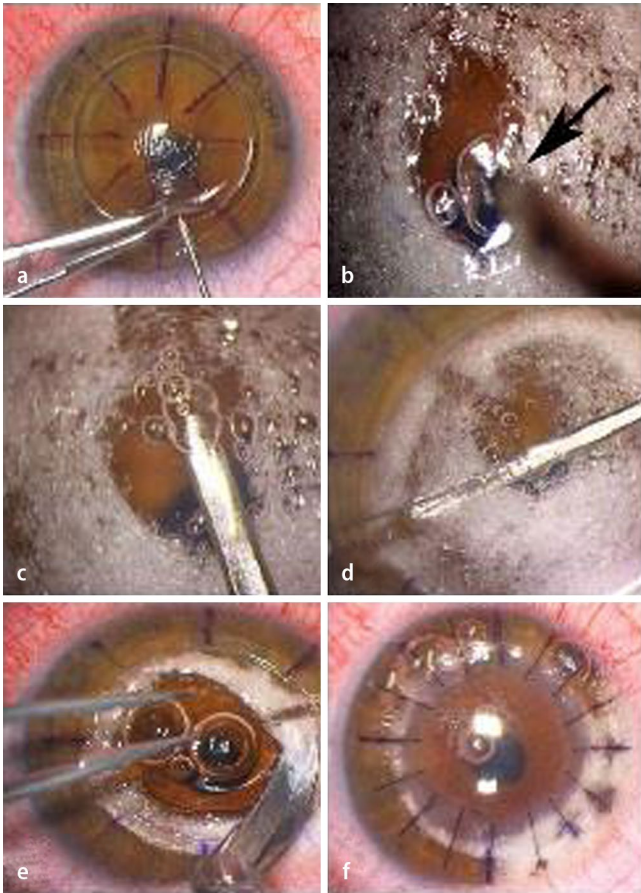


Abb. 4 ◀ Mikro-bubble-Inzisionstechnik. **a–b** Die Mikrobubble-Inzisionstechnik ist ein Verfahren zur Präparation bis zur Descemet-Membran (DM), wenn sich im Rahmen der DALK-Operation keine Big-Bubble ausbildet. **c–d** Durch die sequenzielle Inzision der verbliebenen prädescemetalen Luftblasen mit einer scharfen Nadel kann man sich schrittweise bis zur DM hinunterarbeiten und **e–f** die Operation als DALK abschließen. (Mit freundl. Genehmigung von Wolters Kluwer Health; aus [30])

12 bis 18 Monaten), sodass sich auch die Dauer der Steroidtherapie verkürzt.

Standardisierte DALK: Pentacam-gestützte Trepanation bei Big-Bubble-DALK

Eine Möglichkeit, den Operationsablauf während der DALK zu standardisieren, ist die Pentacam-gestützte Trepanation der peripheren Wirtshornhaut. In einer Studie an 50 Patienten mit Keratokonus die mittels Pentacam-DALK behandelt wurden, konnten wir zeigen, dass durch eine präoperative Pentacam-Dickenmessung und die anschließende Trepanation der peripheren Wirtshornhaut auf mindestens 90% der minimalen Hornhautstromadicke bei über 90% der Patienten erfolgreich eine Trennung von Descemet-Membran und Stroma mithilfe der Big-Bubble-Technik durchgeführt werden konnte [15]. Dies liegt am ehesten daran, dass die Wahrscheinlichkeit der Separation von Descemet-Membran und Stroma bei intrastromaler Luftinjektion invers mit der Dicke des verbliebenen

Stromas korreliert. Das heißt, je tiefer die Nadel bei der Luftinjektion positioniert ist, desto größer ist die Rate einer erfolgreichen Big-Bubble-Separation ([14, 15, 29]; **Abb. 2**).

Weitere Standardisierungsmöglichkeiten sind hier der Einsatz des Femtosekundenlasers zur Vorpräparation der Peripherie. Es gibt erste Studienergebnisse, die diesen Weg als erfolgreich erscheinen lassen [8, 24].

Intraoperatives OCT zur Standardisierung der DALK

Ein Problem bei der Big-Bubble-DALK ist die fehlende Beurteilbarkeit der Tiefe der Luftinjektionsnadel im Hornhautstroma. Hier kann das intraoperative OCT (iOCT) mit der dritten Dimension von lateral helfen ([3, 4, 35, 36, 38]; **Abb. 3**). Das iOCT erlaubt eine präzise Darstellung der Position der Luftinjektionsnadel und erhöht damit aller Wahrscheinlichkeit nach die Erfolgsrate bei Big-Bubble-DALK [13]. In Studien konnte gezeigt werden, dass die Erfolgsrate der Ausbildung einer Big-

Bubble zwischen Descemet-Membran und Stroma umso größer ist, je näher die Luftinjektionsnadel bei der Präparation an die Descemet-Membran heranreicht [13]. Das iOCT erlaubt des Weiteren, alle Schritte der DALK zu visualisieren, und erhöht damit auch die Sicherheit und die Präzision der Operation (**Abb. 3**). So kann z. B. mittels iOCT am Ende der Operation überprüft werden, ob Flüssigkeit zwischen der Spenderlamelle und der Descemet-Membran verblieben ist. Sollte dies der Fall sein, kann diese gezielt aus dem Interface drainiert werden, um damit postoperativ eine zweite Vorderkammerbildung zu minimieren. Ob die iOCT-gesteuerte DALK tatsächlich bessere Visusergebnisse, höhere Erfolgsraten und weniger Komplikationen liefert, müssen allerdings prospektive Studien zeigen [36].

Vollendung der DALK bei Ausbleiben einer Big-Bubble: Mikrobubble-Inzisionstechnik

In einem nicht unerheblichen Prozentsatz gerade jüngerer Keratokonuspatienten gelingt die Ausbildung einer Big-Bubble intraoperativ nicht. Hier müssen dann alternative Strategien angewandt werden, um dennoch sicher und ohne Perforation der Descemet-Membran bis auf diese herunter zu präparieren. Ein von uns kürzlich beschriebener Ansatz ist die sog. Mikrobubble-Inzisionstechnik (**Abb. 4 und 5**). Bei diesem Verfahren wird nach Luftinjektion in das Stroma und Ausbleiben einer Big-Bubble zunächst eine lamelläre Präparation der vorderen zwei Drittel des Hornhautstromas durchgeführt. Anschließend wird sequenziell in die von oben sichtbaren Luftblasen im Stroma mittels eines scharfen Instrumentes inzidiert. Dieses Verfahren wird so lange fortgeführt, bis ein leicht zu präparierender Spaltraum unmittelbar vor der Descemet-Membran dargestellt werden kann (**Abb. 4 und 5**). Mit diesem Verfahren konnten wir bei 18 von 20 konsekutiven Patienten, die mittels DALK bei Keratokonus behandelt wurden und bei denen es nicht zur Ausbildung einer Big-Bubble kam, dennoch erfolgreich bis zur Descemet-Membran präparieren. Die Visus- und Endothelzellergebnisse dieser Patienten waren vergleichbar mit denen

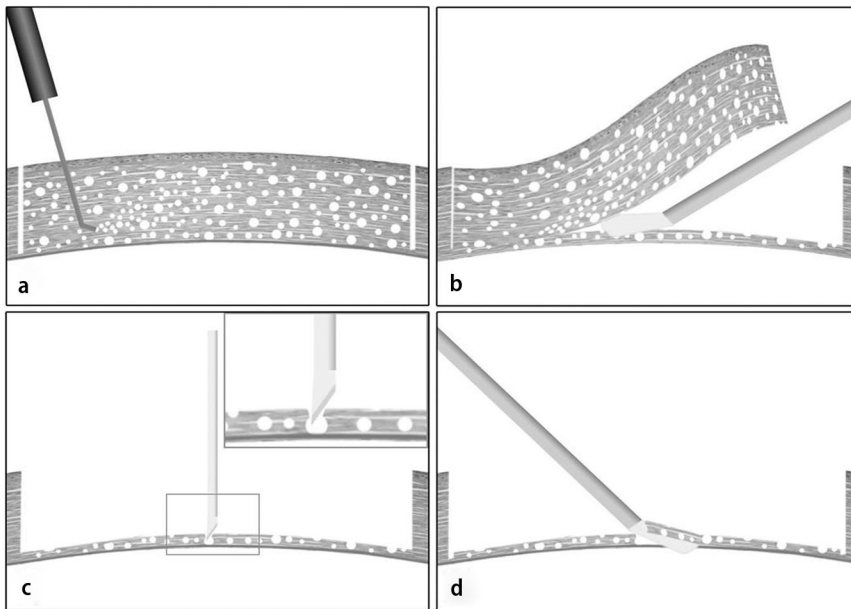


Abb. 5 ▲ Schematische Darstellung zur Mikrobubble-Inzision. **a** Fehlende Ausbildung einer Big-Bubble während der DALK-Operation. **b** Es wird eine lamelläre Präparation der vorderen zwei Drittel des Hornhautstromas durchgeführt. **c** Mittels eines scharfen Instrumentes wird in die sichtbaren Luftblasen im Stroma inzidiert, **d** bis ein leicht zu präparierender Spaltraum unmittelbar vor der Descemet-Membran dargestellt werden kann. (Mit freundl. Genehmigung von Wolters Kluwer Health; aus [30])

von Patienten die mittels Big-Bubble-Technik operiert worden sind [30].

Komplikationsvermeidung vor der Operation

Viele mögliche Probleme während der DALK-Chirurgie können bereits präoperativ verhindert werden. So kann z. B. die Entstehung von Interfacedebris durch das Einbluten aus peripheren Hornhautgefäßen vermieden werden. Hier führen wir regelmäßig die periphere Gefäßverödung von stromalen Gefäßen durch [19]. Durch Kombination der peripheren 10-0-Nylon-Nadel-Kauterisierung mittels subkonjunkivaler Avastin-Gabe lassen sich periphere Gefäße zuverlässig veröden (■ **Abb. 6**). Im reizfreien Intervall kann dann die DALK durchgeführt werden, ohne dass es intraoperativ zur Einblutung in das Interface kommt. Dieses Verfahren ist gerade bei Keratokonuspatienten mit kontaktlinseninduzierter stromaler Gefäßeinsprossung sehr hilfreich.

Intraoperative Komplikationsvermeidung

Die von Prof. Dua [12, 13] kürzlich beschriebene prädescemetale Stromaschicht erklärt einige Phänomene, die bei der Luftinjektion in die Hornhaut im Rahmen der Big-Bubble-DALK-Technik zu finden sind. So lässt sich dort eine Typ-I-Big-Bubble von einer Typ-II-Big-Bubble unterscheiden. Bei der Typ-I-Big-Bubble findet sich eine stabile, etwa 8 mm Durchmesser große zentrale Abhebung der Descemet-Membran vom Hornhautstroma. Histologische Untersuchungen zeigen einen verbliebenen Stromaanteil vor der Descemet-Membran und dem Endothel mit einer Dicke von wenigen Mikrometern. Hier kann intraoperativ komplikationsfrei bis auf diese Schicht präpariert werden, ohne dass ein hohes Perforationsrisiko vorhanden ist. Kommt es dagegen zu einer sehr viel selteneren Typ-II-Big-Bubble, die sich weit auslaufend in der Peripherie bis zum Kammerwinkel erstreckt, ist der Gewebeanteil vor der Descemet-Membran wesentlich geringer und das Perforationsrisiko wesentlich höher. Das heißt, bei Typ-II-Big-Bubble ist intraoperativ eine

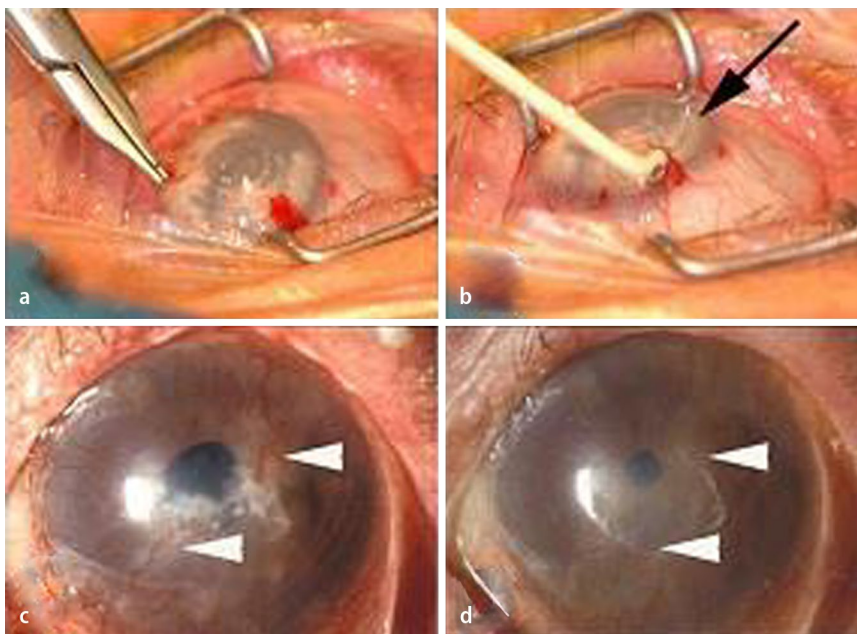


Abb. 6 ▲ Gefäßkauter bei Gefäßeinsprossungen vor der DALK-Operation. **a–c** Stromale Gefäße der peripheren Hornhaut (Pfeile in **c**) werden verödet durch Kombination der peripheren 10-0-Nylon-Nadel-Kauterisierung mit subkonjunkivaler Avastin-Gabe. **d** Im reizfreien Intervall zeigen sich die Gefäße verödet (Pfeile), und die DALK kann mit deutlich gemindertem Risiko von Einblutungen erfolgen. (Mit freundl. Genehmigung von Thieme; aus [11])

wesentlich höhere Aufmerksamkeit des Operateurs nötig, um eine Perforation intraoperativ zu vermeiden.

Fazit für die Praxis

- Die DALK bietet intraoperative (geringere/keine Eröffnung des Auges) und postoperative (mehr Hornhautendothelzellen, keine endotheliale Immunreaktion, vermutlich längeres Transplantatüberleben) Vorteile.
- Nachteile sind die komplexeren und länger dauernden Operationen mit einigen spezifischen Komplikationen im Bereich des Interface.
- Die hier geschilderten Strategien zur Standardisierung und zu intraoperativen und postoperativen Komplikationsvermeidungen sollen dazu führen, die DALK noch sicherer und reproduzierbarer durchführen zu können. Dies ist angesichts der unbestreitbaren Vorteile dieses durchaus komplexeren Operationsverfahrens gegenüber der pKPL nur zu wünschen.
- Mittels DALK können wir unseren Patienten mit Keratokonus eine wesentlich längere Transplantatlebensdauer bei reduziertem Komplikationsrisiko anbieten.
- Die DALK stellt ein sicheres Verfahren zur chirurgischen Behandlung des Keratokonus dar und sollte aufgrund der niedrigeren Komplikationsrate im Vergleich zur pKPL als Standardverfahren eingesetzt werden.

Korrespondenzadresse



Dr. F. Schaub

Zentrum für Augenheilkunde,
Universität zu Köln,
Universitätsklinikum Köln
Kerpener Straße 62, 50924
Köln
friederike.schaub@uk-koeln.de

Finanzielle Unterstützung. COST BM 1302 (www.biocornea.de); DFG Forschergruppe FOR2240 (www.for2240.de).

Hier steht eine Anzeige.



Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Cursiefen, F. Schaub und B. Bachmann geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle im vorliegenden Manuskript beschriebenen Untersuchungen wurden im Einklang mit nationalem Recht sowie der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Es handelt sich um eine Übersichtsarbeit, die auf eigenen Erfahrungen basiert sowie eine Literaturübersicht aus PubMed umfasst. Eine Genehmigung durch das lokale Ethikkomitee war somit nicht erforderlich.

Literatur

- Al Torbak AA, Al Motowa S, Al Assiri A, Al Kharashi S, Al Shahwan S, Al Mezaine H, Teichmann K (2006) Deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus. *Cornea* 25:408–412
- Anwar M, Teichmann KD (2002) Big-bubble technique to bare Descemet's membrane in anterior lamellar keratoplasty. *J Cataract Refract Surg* 28:398–403
- Au J, Goshe J, Dupps WJ Jr, Srivastava SK, Ehlers JP (2015) Intraoperative optical coherence tomography for enhanced depth visualization in deep anterior lamellar keratoplasty from the PIONEER study. *Cornea* 34:1039–1043
- Benito-Llopis L, Mehta JS, Angunawela RI, Ang M, Tan DT (2014) Intraoperative anterior segment optical coherence tomography: a novel assessment tool during deep anterior lamellar keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 157:334–341
- Birnbaum F, Wiggermann A, Maier PC, Bohringer D, Reinhard T (2013) Clinical results of 123 femtosecond laser-assisted penetrating keratoplasties. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 251:95–103
- Borderie VM, Sandali O, Bullet J, Gaujoux T, Touzeau O, Laroche L (2012) Long-term results of deep anterior lamellar versus penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 119:249–255
- Braun JM, Hofmann-Rummelt C, Schlotzer-Schrehardt U, Kruse FE, Cursiefen C (2013) Histopathological changes after deep anterior lamellar keratoplasty using the big-bubble technique. *Acta Ophthalmol* 91:78–82
- Buzzonetti L, Laborante A, Petrocelli G (2010) Standardized big-bubble technique in deep anterior lamellar keratoplasty assisted by the femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg* 36:1631–1636
- Cursiefen C, Heindl LM (2011) [Perspectives of deep anterior lamellar keratoplasty]. *Ophthalmologie* 108:833–839
- Cursiefen C, Siebelmann S, Bachmann B (2015) Komplikationen der tiefen anterioren Keratoplastik – Vermeiden, Erkennen und Behandeln. *Ophthalmologie* 112:961–968
- Cursiefen C, Regenfuss B, Hos D, Bucher F, Steven P, Heindl LM, Bock F (2013) [Anti(lymph)angiogenic preconditioning prior to keratoplasty]. *Klin Monbl Augenheilkd* 230:500–504
- Dua HS, Faraj LA, Said DG, Gray T, Lowe J (2013) Human corneal anatomy redefined: a novel pre-Descemet's layer (Dua's layer). *Ophthalmology* 120:1778–1785
- Dua HS, Mastropasqua L, Faraj L, Nubile M, Elalfy MS, Lanzini M, Caliendo R, Said DG (2015) Big bubble deep anterior lamellar keratoplasty: the collagen layer in the wall of the big bubble is unique. *Acta Ophthalmol* 93:427–430
- Feizi S, Javadi MA, Daryabari SH (2015) Factors influencing big-bubble formation during deep anterior lamellar keratoplasty in keratoconus. *Br J Ophthalmol*. doi:10.1136/bjophthalmol-2015-307111
- Ghanem RC, Bogoni A, Ghanem VC (2015) Pachymetry-guided intrastromal air injection ("pachy-bubble") for deep anterior lamellar keratoplasty: results of the first 110 cases. *Cornea* 34:625–631
- Han DC, Mehta JS, Por YM, Htoon HM, Tan DT (2009) Comparison of outcomes of lamellar keratoplasty and penetrating keratoplasty in keratoconus. *Am J Ophthalmol* 148:744–751
- Harding SA, Nischal KK, Upponi-Patil A, Fowler DJ (2010) Indications and outcomes of deep anterior lamellar keratoplasty in children. *Ophthalmology* 117:2191–2195
- Heindl LM, Riss S, Adler W, Bucher F, Hos D, Cursiefen C (2013) Split cornea transplantation: relationship between storage time of split donor tissue and outcome. *Ophthalmology* 120:899–907
- Koenig Y, Bock F, Kruse FE, Stock K, Cursiefen C (2012) Angioregressive pretreatment of mature corneal blood vessels before keratoplasty: fine-needle vessel coagulation combined with anti-VEGFs. *Cornea* 31:887–892
- Krumeich JH, Knulle A, Krumeich BM (2008) [Deep anterior lamellar (DALK) vs. penetrating keratoplasty (PKP): a clinical and statistical analysis]. *Klin Monbl Augenheilkd* 225:637–648
- Kubaloglu A, Sari ES, Unal M, Koytak A, Kurnaz E, Cinar Y, Ozerturk Y (2011) Long-term results of deep anterior lamellar keratoplasty for the treatment of keratoconus. *Am J Ophthalmol* 151:760–767
- Lang SJ, Bischoff M, Bohringer D, Seitz B, Reinhard T (2014) Analysis of the changes in keratoplasty indications and preferred techniques. *PLoS One* 9:e112696
- Liu H, Chen Y, Wang P, Li B, Wang W, Su Y, Sheng M (2015) Efficacy and safety of deep anterior lamellar keratoplasty vs. penetrating keratoplasty for keratoconus: a meta-analysis. *PLoS One* 10:e0113332
- Maharana PK, Agarwal K, Jhanji V, Vajpayee RB (2014) Deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus: a review. *Eye Contact Lens* 40:382–389
- Maier P, Reinhard T, Cursiefen C (2013) Descemet stripping endothelial keratoplasty – rapid recovery of visual acuity. *Dtsch Arztebl Int* 110:365–371
- Maier PC, Birnbaum F, Reinhard T (2010) [Therapeutic applications of the femtosecond laser in corneal surgery]. *Klin Monbl Augenheilkd* 227:453–459
- Precik A, Langenbucher A, Seitz B, Cursiefen C (2010) [Long-term outcome after penetrating keratoplasty for keratoconus – impact of preoperative corneal curvature and best corrected visual acuity on the functional results]. *Klin Monbl Augenheilkd* 227:199–207
- Reinhard WJ, Musch DC, Jacobs DS, Lee WB, Kaufman SC, Shtein RM (2011) Deep anterior lamellar keratoplasty as an alternative to penetrating keratoplasty a report by the american academy of ophthalmology. *Ophthalmology* 118:209–218
- Riss S, Heindl LM, Bachmann BO, Kruse FE, Cursiefen C (2012) Pentacam-based big bubble deep anterior lamellar keratoplasty in patients with keratoconus. *Cornea* 31:627–632
- Riss S, Heindl LM, Bachmann BO, Kruse FE, Cursiefen C (2013) Microbubble incision as a new rescue technique for big-bubble deep anterior lamellar keratoplasty with failed bubble formation. *Cornea* 32:125–129
- Schlötzer-Schrehardt U, Bachmann BO, Tourtas T, Torricelli AA, Singh A, Gonzalez S, Mei H, Deng SX, Wilson SE, Kruse FE (2015) Ultrastructure of the posterior corneal stroma. *Ophthalmology* 122:693–699
- Seitz B, Cursiefen C, El Husseiny M, Viestenz A, Langenbucher A, Szentmary N (2013) [DALK and penetrating laser keratoplasty for advanced keratoconus]. *Ophthalmologie* 110:839–848
- Sektion Kornea der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) (2013). Deutsches Keratoplastikregister
- Shimazaki J (2000) The evolution of lamellar keratoplasty. *Curr Opin Ophthalmol* 11:217–223
- Siebelmann S, Hermann M, Dietlein T, Bachmann B, Steven P, Cursiefen C (2015) Intraoperative optical coherence tomography in children with anterior segment anomalies. *Ophthalmology* 122:2582–2584
- Siebelmann S, Steven P, Cursiefen C (2015) Intraoperative optical coherence tomography: ocular surgery on a higher level or just nice pictures? *JAMA Ophthalmol* 133:1133–1134
- Steven P, Hos D, Heindl LM, Bock F, Cursiefen C (2013) [Immune reactions after DMEK, DSAEK and DALK]. *Klin Monbl Augenheilkd* 230:494–499
- Steven P, Le Blanc C, Lankenau E, Krug M, Oelckers S, Heindl LM, Gehlsen U, Huettmann G, Cursiefen C (2014) Optimising deep anterior lamellar keratoplasty (DALK) using intraoperative on-line optical coherence tomography (iOCT). *Br J Ophthalmol* 98:900–904
- Unal M, Bilgin B, Yucel I, Akar Y, Apaydin C (2010) Conversion to deep anterior lamellar keratoplasty (DALK): learning curve with big-bubble technique. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 41:642–650
- Vabres B, Bosnjakowski M, Bekri L, Weber M, Pechereau A (2006) [Deep lamellar keratoplasty versus penetrating keratoplasty for keratoconus]. *J Fr Ophtalmol* 29:361–371
- Watson SL, Ramsay A, Dart JK, Bunce C, Craig E (2004) Comparison of deep lamellar keratoplasty and penetrating keratoplasty in patients with keratoconus. *Ophthalmology* 111:1676–1682
- Watson SL, Tuft SJ, Dart JK (2006) Patterns of rejection after deep lamellar keratoplasty. *Ophthalmology* 113:556–560